



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 196 48 844 C 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
B 29 C 59/02

A67

DE 196 48 844 C 1

②① Aktenzeichen: 196 48 844.3-16
②② Anmeldetag: 26. 11. 96
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 18. 9. 97

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**

JENOPTIK AG, 07743 Jena, DE; Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH, 76133 Karlsruhe, DE

⑦② **Erfinder:**

Müller, Lutz, 07747 Jena, DE; Reuther, Frank, 07407
Rudolstadt, DE; Springer, Alf, 07751 Milda, DE;
Heckele, Matthias, 76351 Linkenheim-Hochstetten,
DE; Biedermann, Hans, 76646 Bruchsal, DE

⑤⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:**

DE 42 22 856 C1
DE 40 10 669 C1

⑤④ **Einrichtung und Verfahren zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen**

⑤⑦ Bei einer Einrichtung und einem Verfahren zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen besteht die Aufgabe, Dickenschwankungen von Abformwerkzeugen und von verwendeten formbaren Materialien bei einem unter Vakuum durchzuführenden Prägeverfahren unter Gewährleistung einer hohen Maßhaltigkeit auszugleichen und unterschiedliche Abformtiefen zu gewährleisten.

Gemäß der Erfindung weist eine Kammer mit einem Paar gegenüberliegender Kammerteile, von denen eines gestellfest und das andere verstellbar ist, Seitenwände auf, die aus einem inneren und einem äußeren Teil bestehen. Der innere Teil ist an dem feststehenden Kammerteil befestigt und der äußere Teil, an dessen nach außen weisender Stirnfläche sich das verstellbare Kammerteil beim Schließen der Kammer gegen die Kraft einer Feder anlegt, ist entlang von Führungselementen am feststehenden Kammerteil zwischen zwei Anschlägen verschiebbar.

Innerhalb der Kammer erfolgt eine Einstellung von atmosphärischen Bedingungen und von Temperaturverhältnissen zu Zeitpunkten des Schließens der Kammer, bei denen eine Erhöhung einer auf das feststehende Kammerteil wirkenden Kraft vorgegebene Werte erreicht.
Die Erfindung ist bei der Herstellung mikrosystemtechnischer Bauelemente anwendbar.

DE 196 48 844 C 1

Die Erfindung betrifft die Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen mit einer Einrichtung, die ein Paar gegenüberliegender Kammerteile einer verschließbaren Kammer enthält, die als Träger zur Aufnahme eines Prägewerkzeuges und eines formbaren Materials dienen, und von denen ein Kammerteil gestellfest und das andere in einem Rahmen verstellbar geführt ist.

Innerhalb des unter dem Namen LIGA-Technik (Lithographie mit Synchrotronstrahlung, Galvanoformung, Abformtechnik mit Kunststoffen) bekannt gewordenen Verfahrens zur Herstellung mikrosystemtechnischer Bauelemente ist die Abformung ein Schlüssel zur Massenproduktion. Durch Eindringen eines Abformwerkzeuges in eine Thermoplastschicht oder ein anderes Material vorzugsweise unter Vakuum und bei einer Temperatur oberhalb der Erweichungstemperatur des Thermoplasten werden dreidimensionale Strukturen mit Strukturhöhen im Bereich weniger Nanometer bis hin zu einigen hundert Mikrometern erzeugt.

Die DE 40 10 669 C1 und DE 42 22 856 C1, deren Gegenstand Verfahren zur Herstellung von mikrostrukturierten Körpern aus Kunststoff sind, beschreiben das sogenannte Vakuumprägeverfahren in seinen Verfahrensschritten näher.

Nicht näher wird auf die konstruktive Gestaltung einer für die serienmäßige Abformung geeigneten Einrichtung eingegangen.

Eine derartige Einrichtung muß das Erfordernis flexibler Einsatzmöglichkeiten erfüllen. Es gilt unter anderem solche Probleme zu lösen, die auf Grund unterschiedlicher Höhen der zu verwendenden Abformwerkzeuge und auch verschiedener Dicken des Abformmaterials und der Abformtiefe (Strukturtiefe) entstehen. Diese Anpaßbarkeit ist durch die in der DE 42 22 856 C1 enthaltene Forderung der sehr genauen Parallelführung des Werkzeuges zusätzlich erschwert.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, derartige Dikenschwankungen bei dem unter Vakuum durchzuführenden Prägeverfahren unter Gewährleistung einer hohen Maßhaltigkeit auszugleichen und unterschiedliche Abformtiefen zu gewährleisten.

Die Aufgabe wird durch eine Einrichtung zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen mit einem Paar gegenüberliegender Kammerteile einer verschließbaren Kammer, die als Träger zur Aufnahme eines Prägewerkzeuges und eines formbaren Materials dienen, und von denen ein Kammerteil gestellfest und das andere in einem Rahmen verstellbar geführt ist gelöst, indem die Kammer Seitenwände aufweist, die aus einem inneren und einem äußeren Teil bestehen, und der innere Teil am feststehenden Kammerteil befestigt und der äußere Teil, an dessen nach außen weisen der Stirnfläche sich das verstellbare Kammerteil beim Schließen der Kammer gegen die Kraft einer Feder anlegt, entlang von Führungselementen am feststehenden Kammerteil zwischen zwei Anschlägen verschiebbar ist. Der Abstand der Anschläge bestimmt im wesentlichen die Kammerweite.

Der innere Teil wird von einem ersten zylindrischen Flansch gebildet, dessen Aufweitung am Kammerteil befestigt ist. Die Aufweitung enthält in einer Nut einen Rundring zur Abdichtung gegen das Kammerteil.

Der äußere Teil in Form eines zweiten zylindrischen Flansches umschließt sowohl den ersten Flansch mit seiner inneren Mantelfläche als auch mit Bohrungen in

seiner Aufweitung die Führungselemente, wobei über einen Quadring eine vakuumdichte Gleitverbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Flansch hergestellt wird.

Trotz der während des Prozesses der Abformung und seiner voran- und nachgestellten Schritte notwendigen Verschiebungen des verstellbaren Kammerteiles verbleibt die Kammer im geschlossenen Zustand, so daß eingestellte Prozeßbedingungen nicht verändert werden.

Vorteilhafterweise ist die Kammer allseitig zumindest abschnittsweise von wärmeisolierenden Mänteln umschlossen, wobei an nach außen weisen den Seiten der Kammerteile Temperierschutzplatten angebracht sind und eine Reduzierung von seitlichen Wärmestrahlungsverlusten durch gestaffelt angeordnete wärmeres reflektierende ringförmige Schilde erfolgt.

Gegenstand der Erfindung ist außerdem ein Verfahren zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen unter Anwendung der erfindungsgemäßen Einrichtung, bei dem ein formbares Material mit einer Abformkraft und vorbestimmter Zeitdauer innerhalb einer verschließbaren Kammer in ein Abformwerkzeug gedrückt wird, nachdem eine Einstellung atmosphärischer Bedingungen und einer dem Abformmaterial angepaßten Abformtemperatur erfolgt ist und bei dem eine Entnahme des geformten Materials bei einer Entformtemperatur stattfindet. Die Einstellung der atmosphärischen Bedingungen und der Prozeßtemperatur erfolgt zu Zeitpunkten des Schließens der Kammer, bei denen eine Erhöhung einer auf das feststehende Kammerteil wirkenden Kraft vorgegebene Werte erreicht.

So beginnt die Einstellung der atmosphärischen Bedingungen bei einem ersten vorgegebenen Wert der Kraft, bei dem ein Verschluß der Kammer durch die Anlage des verschließbaren Kammerteiles an der nach außen weisenden Stirnfläche des äußeren Teiles der Seitenwände erfolgt ist.

Die Einstellung der Prozeßtemperatur setzt einen zweiten vorgegebenen Wert voraus, bei dem das Abformwerkzeug und das formbare Material in optimalem Wärmekontakt aneinander anliegen.

Vorteilhafterweise wird eine infolge Wärmeausdehnung bedingte Erhöhung der auf das feststehende Kammerteil wirkenden Kraft durch eine wegeregelte Verstellung des verstellbaren Kammerteiles ausgeglichen.

Die Erfindung soll nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 den Grundaufbau einer Abformanlage

Fig. 2 eine zur Abformung dienende Vakuumkammer

Fig. 3 Mittel zur Kammerhöhenverstellung in einem vergrößerten Ausschnitt.

Von einem Lastrahmen 1 werden gemäß Fig. 1 ein gestellfestes Teil 2 und ein verstellbares Teil 3 getragen, an denen Flansche 4, 5 befestigt sind. Beide Flansche 4, 5 dienen zur Halterung von sich gegenüberliegenden Kammerteilen 6, 7 einer in den Fig. 2 und 3 näher dargestellten Vakuumkammer.

Mit einer in dem Lastrahmen 1 integrierten Kombination aus Motor, Spindel und Führung als krafterzeugende Einheit kann der verstellbare Teil 3 unter Mitwirkung einer Einrichtung zur Kraftmessung 9, einer Steuereinrichtung 10 sowie nichtdargestellten Einrichtungen zur Wegmessung und zur Kraftregelung in der Andruckkraft steuerbar gegen den gestellfesten Teil 2 verschoben werden.

Zur Temperaturerhöhung und Abkühlung während und nach dem Prozeß der Warmabformung ist eine mit

Öl als Wärmeträger arbeitende Temperierungseinheit 13 vorgesehen.

Temperierschutzplatten 14, 15 zwischen den Flanschen 4, 5 und den temperierbaren Kammerteilen 6, 7 schränken einen Wärmeübergang zu benachbarten Einrichtungsbestandteilen in ausreichender Weise ein.

Nicht dargestellt sind Mittel zur Vakuumerzeugung und -überwachung, Belüftung sowie zur Temperaturerfassung.

Gemäß den Fig. 2 und 3 sind mit der Temperierungseinheit 13 verbundene Kanäle 16, 17 durch die Kammerteile 6, 7 hindurchgeführt.

Die Befestigung des Kammerteiles 6 am Flansch 4 erfolgt über sechs Schrauben, die durch Hülsen 18 hindurchgeführt und von denen je nach Figur eine oder zwei sichtbar sind. (Der Übersicht halber sind in Fig. 2 nicht alle Teile mit ihren Bezugszeichen versehen.)

Die Seitenwände der Vakuumkammer sind in einen inneren und einen äußeren Teil getrennt. Der innere Teil wird von einem ersten zylindrischen Flansch 19 gebildet, dessen Aufweitung durch Schrauben 20 am Kammerteil 6 befestigt ist. Zur Abdichtung ist in eine Nut 21 ein Rundring 22 eingelegt.

Der äußere Teil umschließt in Form eines zweiten zylindrischen Flansches 23 sowohl den ersten Flansch 19 mit seiner inneren Mantelfläche als auch mit Bohrungen 24 in seiner Aufweitung die Hülsen 18. Über einen Quadring 25 wird eine vakuumdichte Gleitverbindung hergestellt. Auf die als Führung für den zweiten Flansch 23 dienenden Hülsen 18 sind Druckfedern 26 geschoben, die an der Aufweitung des zweiten Flansches 24 an liegen und sich gegen das Kammerteil 6 abstützen. Schraubenköpfe 27, 28 bilden begrenzende Anschläge für eine Bewegung des zweiten Flansches 23, der bei geöffneter Vakuumkammer durch die Wirkung der Druckfedern 26 an die Schraubenköpfe 28 gedrückt wird und an dessen nach außen weisender Stirnfläche 29 sich das verstellbare Kammerteil 7 beim Schließen der Vakuumkammer gegen die Kraft der Druckfeder 26 an legt. Zu Dichtungszwecken ist ein Nullring 30 in eine Nut 31 in der Stirnfläche 29 eingelegt.

Der als Prozeßraum dienende Innenraum der Vakuumkammer ist zur Reduzierung von seitlichen Wärmestrahlungsverlusten mehrfach von wärmeres reflektierenden ringförmigen Schilden umschlossen. Ein erster innerer Schild 32 ist innerhalb des ersten Flansches 19 angeordnet und läßt zu diesem einen Spalt 33 frei. Mittlere Schilde 35, 36 sind den Kammerteilen 6, 7 an nach außen weisenden Seiten und Spalte 34, 37 freilassend benachbart. Schließlich bilden äußere Schilde 38, 39 eine letzte Abschirmung.

An einem der als Ober- und Unterteil dienenden Kammerteile 6, 7 ist eine nicht dargestellte Aufnahme vorgesehen, mit der ein Abformwerkzeug und/oder ein Prägestempel in fester Installation gehalten werden kann oder die zur Halterung eines außerhalb der Einrichtung zusammengestellten Schichtenaufbaus, bestehend z. B. aus Abformwerkzeug, Abformmaterial, Stempel und technologisch bedingter Trennfolien geeignet ist. Das Beladen kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen.

Zur Vermeidung einer Oxydation des Abformwerkzeuges oder von Luftpfeinschlüssen in den herzustellenden Strukturen sind nicht nur eine Vakuumumgebung sondern auch die Verwendung eines Schutzgases als atmosphärische Bedingungen geeignet.

Die im vorliegenden Beispiel beschriebene Vakuumkammer kann ohne Veränderung der erfindungswesent-

lichen Bestandteile auch als verschließbare Kammer, in der unter einer Schutzgasatmosphäre gearbeitet werden kann, ausgebildet sein.

Die Anlage einer Dichtfläche 40 des unteren Kammerteiles 7 an dem Nullring 30 in der außen weisenden Stirnfläche 29 beim Verschließen der Vakuumkammer führt zu einem Anstieg einer mit der Kraftmeßeinrichtung 9 gemessenen Druckkraft. Bei Erreichen einer vorgegebenen ersten Kraft wird die Bewegung des verstellbaren Teiles 3 gestoppt, die Position weggeregelt konstant gehalten. Es erfolgt eine Evakuierung der Vakuumkammer, ohne daß eine Kraft auf das Abformmaterial ausgeübt wird.

Ist die Evakuierung erfolgt, beginnt der Prozeß der Abformung. Zuerst wird die Einrichtung zur Kraftmessung 9 genullt, da die nach der Evakuierung durch das Vakuum erzeugten Kräfte auf die Kammer keinen Einfluß auf die Abformung haben. Der verstellbare Teil 3 wird nunmehr solange verfahren, bis eine wiederum vorgegebene zweite Kraft erreicht wird, bei der das Abformwerkzeug und das Abformmaterial zur Temperierung in optimalem Kontakt zueinander stehen. Indem der zweite Flansch 23 über den ersten Flansch 19 gleitet, wird die dazu notwendige Verringerung der Kammerhöhe unter Beibehaltung der Vakuumbedingungen erreicht.

Abformwerkzeug und -material werden auf die erforderliche Abformtemperatur gebracht, wobei durch Kraftreglung die eingestellte Kraft konstant gehalten wird.

Eine durch Wärmeausdehnung der Materialien verursachte Erhöhung der Andruckkraft wird über den verstellbaren Teil 3 durch eine Wegregelung ausgeglichen.

Durch die Verschiebbarkeit des Flansches 23 gegenüber dem Flansch 19 wird auch bei dieser Maßnahme in vorteilhafter Weise der vakuumdichte Verschluss der Vakuumkammer gewährleistet.

Ein Anschlag an den Schraubenköpfen 27 erzeugt einen meßbaren Anstieg der mit der Meßeinrichtung 9 gemessenen Kraft, wodurch der maximale Verschiebungsweg der an der Abformung beteiligten Elemente überwacht werden kann.

Ist die erforderliche Abformtemperatur erreicht, wird die für den Abformprozeß notwendige Abformkraft über das verstellbare Teil 3 eingeleitet und der Abformprozeß kraftgeregelt gesteuert.

Nachdem der Abformprozeß abgeschlossen ist, wird der verstellbare Teil 3 solange verfahren, bis eine vorgegebene dritte Kraft erreicht ist. Dann werden Abformwerkzeug und Abformstempel durch Umschalten der Temperierregimes über die temperierbaren Kammerteile 6, 7 bis auf eine Entformtemperatur abgekühlt. Ist diese erreicht, wird die Vakuumkammer mit Schutzgas geflutet und durch Wegumkehr des verstellbaren Teiles 3 geöffnet. Durch die Wirkung der Druckfedern 26 wird der zweite Flansch 23 an die Schraubenköpfe 28 gedrückt, wodurch die Ausgangsstellung mit der größten Kammerweite erreicht ist.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen mit einem Paar gegenüberliegenden Kammerteile einer verschließbaren Kammer, die als Träger zur Aufnahme eines Prägewerkzeuges und eines formbaren Materials dienen, und von denen ein Kammerteil gestellfest und das andere in einem Rahmen verstellbar geführt ist, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die Kammer Seitenwände aufweist, die aus einem inneren und einem äußeren Teil bestehen, und daß der innere Teil am feststehenden Kammerteil (6) befestigt und der äußere Teil, an dessen nach außen weisender Stirnfläche (29) sich das verstellbare Kammerteil (7) beim Schließen der Kammer gegen die Kraft einer Feder (26) anlegt, entlang von Führungselementen (18) am feststehenden Kammerteil (6) zwischen zwei Anschlüssen verschiebbar ist, deren Abstand im wesentlichen die Kammerweite bestimmt.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der innere Teil von einem ersten zylindrischen Flansch (19) gebildet wird, dessen Aufweitung am Kammerteil (6) befestigt ist und die in einer Nut (21) einen Rundring (22) zur Abdichtung gegen das Kammerteil (6) enthält.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere Teil in Form eines zweiten zylindrischen Flansches (23) sowohl den ersten Flansch (19) mit seiner inneren Mantelfläche als auch mit Bohrungen (24) in seiner Aufweitung die Führungselemente (18) umschließt, wobei über einen Quadring (25) eine vakuumdichte Gleitverbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Flansch (19, 23) hergestellt wird.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer allseitig zumindest abschnittsweise von wärmeisolierenden Mänteln umschlossen ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß an nach außen weisenden Seiten der Kammerteile (6, 7) Temperierschutzplatten (14, 15) angebracht sind und eine Reduzierung von seitlichen Wärmestrahlungsverlusten durch gestaffelt angeordnete wärmereflektierende ringförmige Schilde erfolgt.

6. Verfahren zur Abformung mikrosystemtechnischer Strukturen unter Anwendung einer Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem ein formbares Material mit einer Abformkraft und vorbestimmter Zeitdauer innerhalb einer verschließbaren Kammer in ein Abformwerkzeug gedrückt wird, nachdem eine Einstellung atmosphärischer Bedingungen und einer dem Abformmaterial angepaßten Abformtemperatur erfolgt ist und bei dem eine Entnahme des geformten Materials bei einer Entformtemperatur stattfindet, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der atmosphärischen Bedingungen und der Prozeßtemperatur zu Zeitpunkten des Schließens der Kammer erfolgt, bei denen eine Erhöhung einer auf das feststehende Kammerteil wirkenden Kraft vorgegebene Werte erreicht.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der atmosphärischen Bedingungen bei einem ersten vorgegebenen Wert der Kraft beginnt, bei dem ein Verschluß der Kammer durch die Anlage des verschließbaren Kammerteiles an der nach außen weisenden Stirnfläche des äußeren Teiles der Seitenwände erfolgt ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Prozeßtemperatur einen zweiten vorgegebenen Wert voraussetzt bei dem das Abformwerkzeug und das formbare Material in optimalem Wärmekontakt aneinander anliegen.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß eine infolge Wärmeausdehnung bedingte Erhöhung der auf das feststehende Kammerteil wirkenden Kraft durch eine weggeregelte Verstellung des verstellbaren Kammerteiles ausgeglichen wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

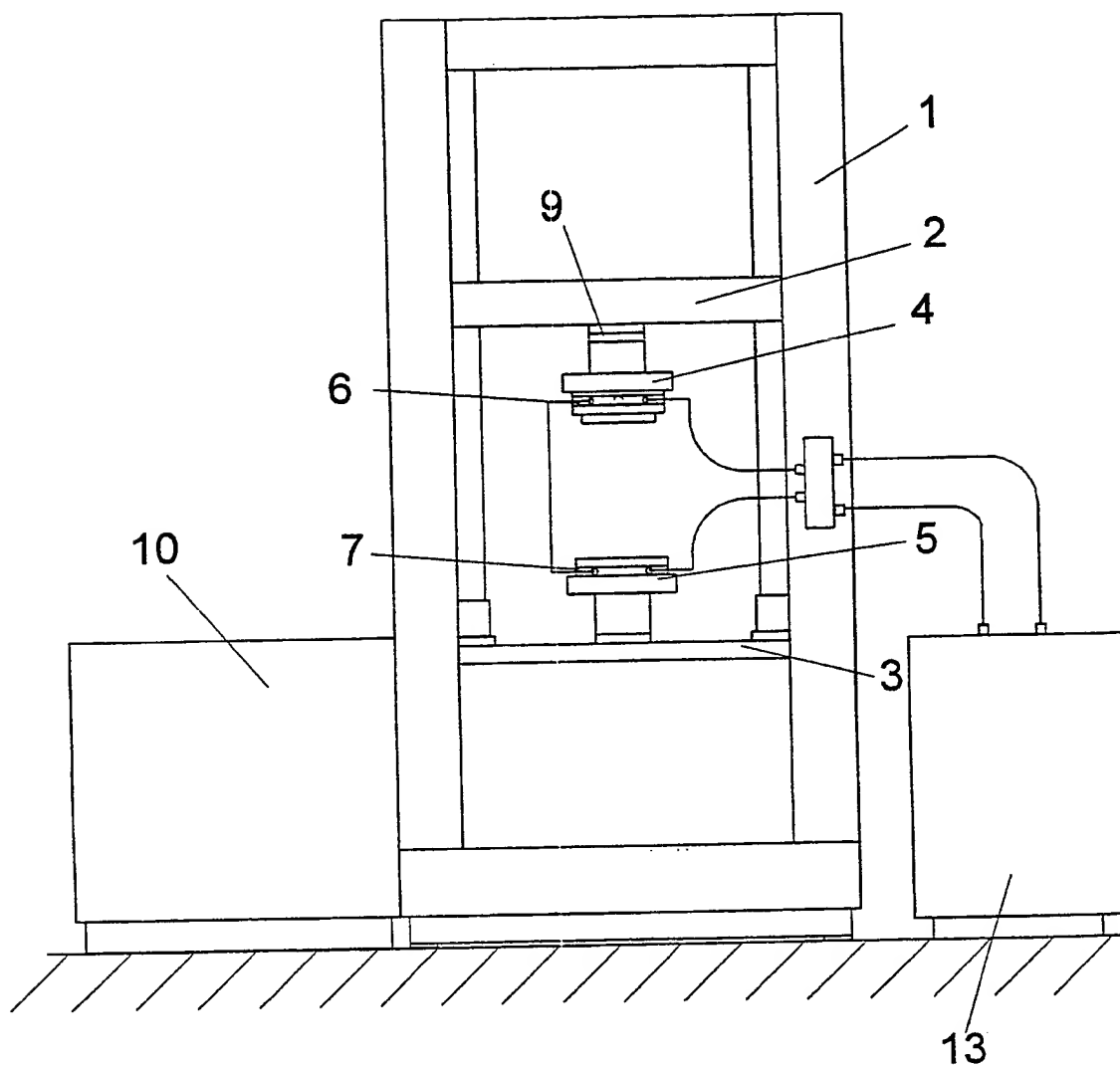


Fig. 1

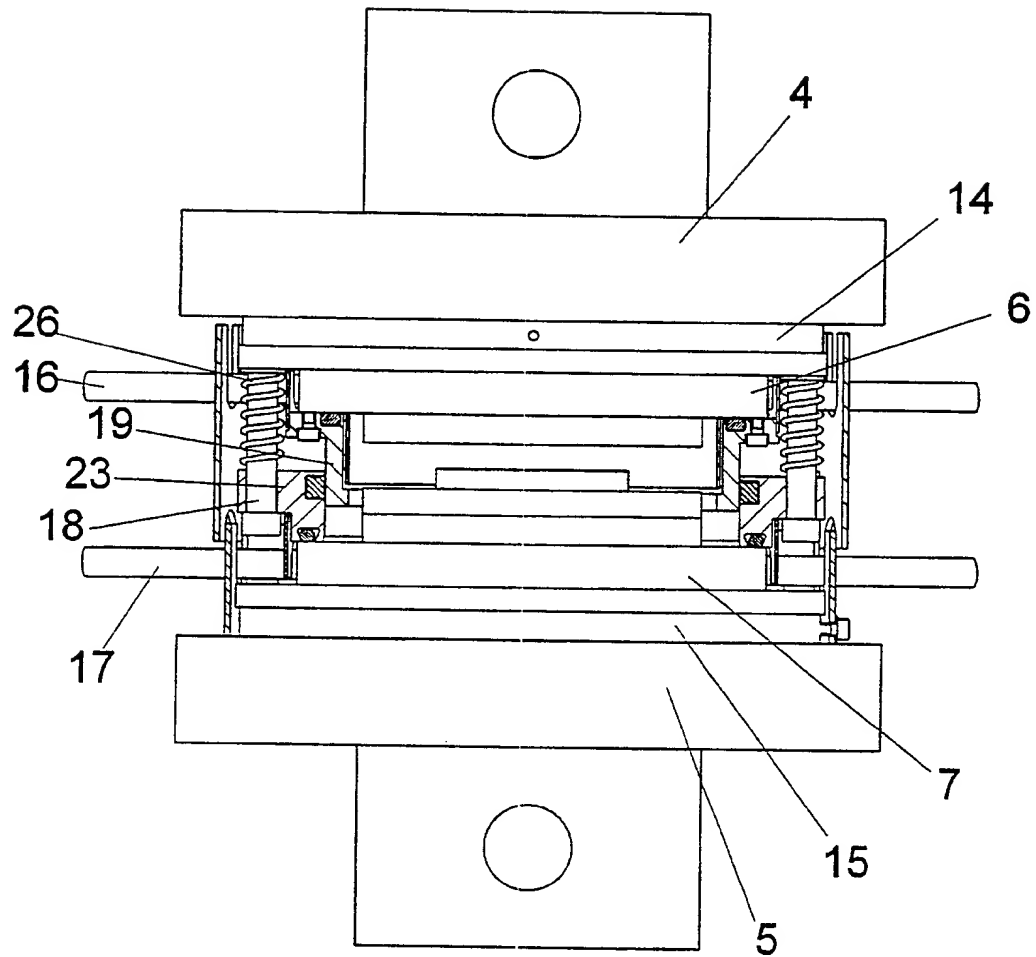


Fig. 2

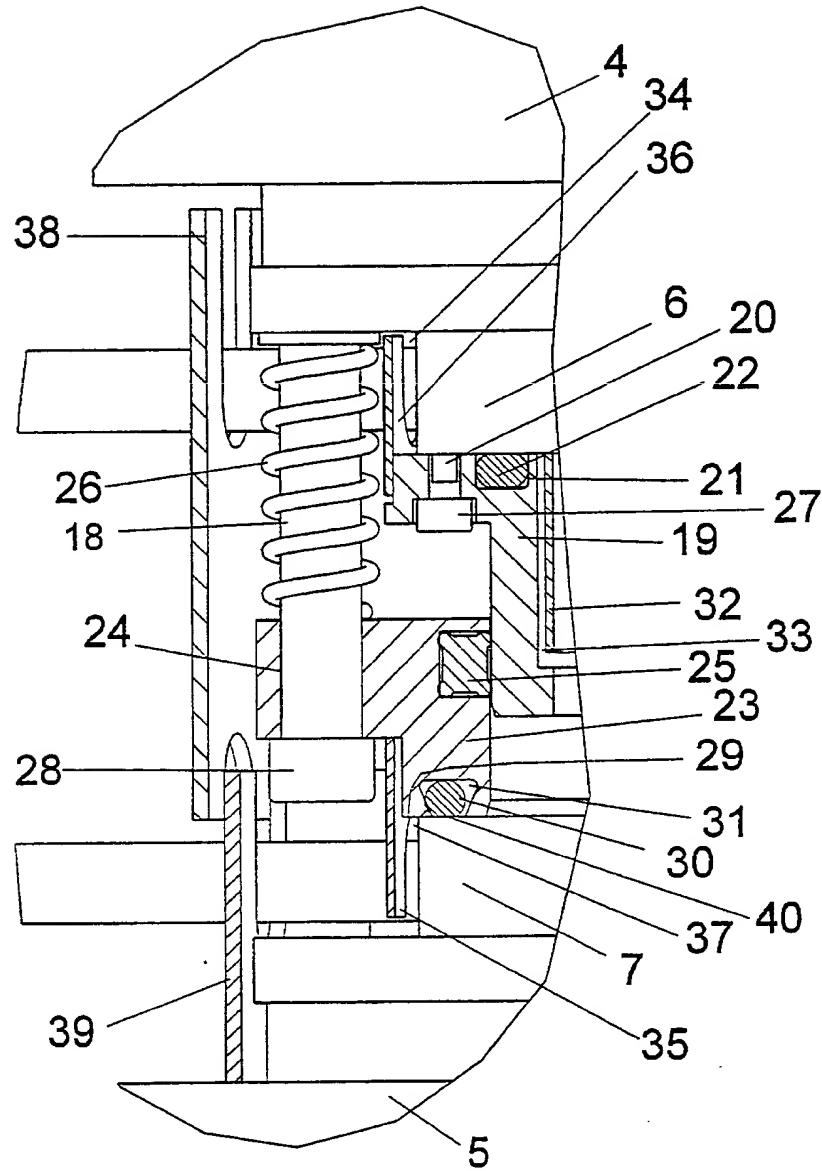


Fig. 3